

Запропонована методика розробки календарних графіків будівництва об'єктів на основі кореляційного аналізу таризик-орієнтованого підходу дозволяє ідентифікувати ризики і обґрунтувати реальні строки будівництва при укладанні договору генерального підряду, а також оцінити їх вплив на вартість будівництва і економічну ефективність реалізації будівельного проекту. Критичним для левериджу тривалості будівництва слід вважати контрактний строк будівництва об'єкту (Тб) і в виробничій програмі на 1-2 роки визначати вплив реального строку будівництва (Тп) на прибуток будівельного підприємства.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Національний стандарт України ДСТУ Б А.3.1-22:2013 «Визначення тривалості будівництва об'єктів» (набув чинності з 1 січня 2014 року). - К.: Мінрегіонбуд. Наказ від 20.08.2013 № 393.
2. СНиП 1.04.03 – 85*. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений. Госстрой СССР. Госплан СССР. – М.: Стройиздат, 1987. – 522с
3. Дружинин А.В., Евтушенко В.А. Снижение себестоимости в строительстве. – К.: Будівельник, 1989. -120с.
4. Леверидж: понятия, виды, сущность. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.allbest.ru.
5. Меркин Р.М. Резервы сокращения продолжительности строительства. – М.: МИСИ – НИИОУС, 1982. – 90 с.
6. Онищенко В.О., Старовірець А.С., Редкін О.В., Чевганова В.Я. Організація виробництва – К.: «Лібра», 2003. – 334с.
7. Онищенко В.О., Старовірець А.С., Редкін О.В., Чевганова В.Я. Організація виробництва – К.: «Лібра», 2005. – 375с.

УДК 621.3

Кундо Ю.А., Корсун В.Е., Федоренко А.А.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

КОНТРОЛЬ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Вопросы нагрева активных частей (обмоток ротора и стартера) синхронных электродвигателей занимают важнейшее место, как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации электроприводов. Это обусловлено тем, что срок службы электродвигателя определяется сроком службы изоляции проводов обмоток. При перегреве обмоток значительно ускоряется процесс старения изоляции, приводящей к потере ее изолирующих свойств и механической прочности. Установлено, что превышение температуры обмоток на 8-10 °С над допустимой снижает срок службы электродвигателя вдвое.

Особое значение вопросы нагрева обмоток приобретают при применении синхронных электродвигателей в частотно-управляемых электроприводах.

При питании электродвигателей от преобразователей частоты (ПЧ) имеет место дополнительный нагрев, обусловленный высшими гармониками несинусоидального тока статора и гармониками пульсирующего тока возбуждения ротора. Наиболее существенное влияние дополнительный нагрев оказывает на синхронные двигатели типа СТД (синхронные турбодвигатели) с цельнопакованными стальными роторами. Особенности нагрева ротора двигателей СТД при питании от ПЧ изучаются, однако в настоящее время нет гарантированных рекомендаций по соблюдению тепловых режимов. Имеются ориентировочные рекомендации завода-изготовителя двигателя СТД по опытной эксплуатации их при питании от ПЧ, которые указывают, что при питании от преоб-

разователя частоты типа ПЧВН-12/*n* может осуществляться эксплуатация при нагрузке двигателей до 0,8 Рн.

Анализ причин дополнительного нагрева активных частей частотно-управляемых электродвигателей показал, что наибольшему перегреву подвергается ротор синхронного двигателя СТД. Обмотка ротора с изоляцией класса В допускает нагрев до 130°C, что определяет номинальную загрузку двигателя при нормальной эксплуатации (без гармоник). При питании от ПЧ в цельнопакованной стальной бочке ротора возникают тепловые потери за счет вихревых токов, обусловленных высшими гармониками тока статора и гармониками пульсирующего тока возбуждения. Тепловые потери за счет высших гармоник тока статора практически пропорциональны току статора, а тепловые потери за счет пульсаций тока возбуждения зависят от угла регулирования в выпрямителе и от величины индуктивности в цепи ротора.

Вопросы измерения и контроля температуры активных частей (ротора и статора) электрических машин имеет решающее значение на этапе испытания новых машин. Для основных измерений температуры в электромашинах применяется [1]:

- 1) метод термометра применяемый для температуры доступных поверхностей собранной электрической машины;
- 2) метод сопротивления, основанный на измерении сопротивления обмотки активной части (статора, ротора, якоря) зависящего от его температуры;
- 3) метод заложенных температурных индикаторов, использующий измерительные элементы (термосопротивления, термопары), заложенные в электромашину во время изготовления;
- 4) метод встраиваемых температурных индикаторов, использующий измерительные элементы (термосопротивления, термопары, конденсаторы и др.), встраиваемые в изготовленную машину.

ГОСТ 11828-86 (СТ СЭВ 1347-78) [2] устанавливает общие методы испытаний вращающихся электрических машин, в том числе и испытания на нагревание установленные ГОСТ 25000-81 [3]. Стандарт устанавливает правила поведения испытаний на нагревание электрических машин постоянного и переменного тока. Метод определения сопротивлений обмоток без отключения машин от сети установлен стандартом СТ СЭВ 1107-78 [4]. Измерение сопротивления основано на наложении постоянного тока на рабочий переменный ток обмотки. По измеренным значениям сопротивления обмотки в холодном и горячем состояниях вычисляют превышение температуры обмотки над окружающей (охлаждающей) температурой.

При испытании электрических машин наибольшее применение нашёл метод сопротивления, основанный на измерении сопротивления обмоток с помощью вольтметра и амперметра. Превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды определяется по формуле:

$$\Delta t = \frac{r_r - r_x}{r_x} (235 + t_x) + t_x - t_0 \quad (1)$$

где r_r и r_x - сопротивление обмотки в горячем и холодном состояниях, Ом; t_x - температура обмотки в холодном состоянии °С; t_0 - температура охлаждающей среды °С.

Для испытаний новых электромашин применяются также метод встраиваемых температурных индикаторов (термопар, термосопротивлений и др.). Если для измерения температуры статора этот метод не вызывает ни каких осложнений, то для измерения температуры ротора приходится решать очень сложные задачи встраивания в ротор индикаторов и осуществления их связи с измерительной аппаратурой. Существует большое разнообразие технических решений осуществления метода встраиваемых индикаторов [5], однако из-за сложности реализации и низкой точности измерения в практике испытания электромашин они не применяются.

В связи с неизученностью влияния преобразователей частоты на тепловые ре-

жимы синхронных двигателей разрабатываются различные устройства для измерения температуры ротора в т.ч. и оптико-электронной системы контроля температуры ротора электрических машин.

Для контроля температуры ротора в процессе эксплуатации синхронных генераторов и двигателей используется метод сопротивлений. Способ контроля температуры по сопротивлению обмотки основан на измерении падений напряжений на рабочем шунте амперметра и на обмотке ротора. Падения напряжений на шунте и обмотке пропорциональны их сопротивлениям, поэтому при постоянном сопротивлении шунта изменение отношения падений напряжений соответствует изменению сопротивления обмотки. На этом принципе построены логометрические измерители температуры обмотки ротора, реализация которых сводится к подключению соответствующего логометра. Токовая рамка логометра подключается к рабочему шунту амперметра, а рамка напряжения присоединяется через добавочные резисторы к щеткам ротора. Положение рамки логометра определяется отношением напряжения к току обмотки, т.е. сопротивлением обмотки, величина которого пропорциональна температуре обмотки. Погрешность логометрических измерителей температуры обмотки не превышает 1,5% в диапазоне измеряемых температур 100...150°C.

Наиболее совершенным средством непрерывного измерения и регистрации температуры обмотки является устройство [6], выполненное на базе электронного автоматического потенциометра ЭПП по мостовой схеме приращений сопротивления обмотки

Для обеспечения синхронных электродвигателей средствами контроля температуры ротора разработана простая и надежная схема измерения температуры обмотки ротора – схема ИТОР, приведена на рис. 1 [7]. Схема ИТОР представляет собой уравновешивающийся измерительный мост, построенный на базе автоматического уравновешивающегося потенциометра (например, КСПЗ-11).

Измерительный мост включает в себя силовую цепь возбуждения ротора, состоящую из обмотки ротора $R_{об}$ и рабочего измерительного шунта $R_{ш}$ и являющуюся ветвью моста. Другая ветвь образована слабوتочной цепью, состоящей из высокоомного балластного резистора R_d и низкоомного установочного резистора R_y . К шунту $R_{ш}$ подключена измерительная цепочка, состоящая из измерительного реохорда и эталонного резистора $R_э$. В измерительную диагональ е-г включен усилитель ЭУ, а к его выходу подключен реверсивный двигатель РД, механически связанный с движком (ползунком) реохорда R_p и со стрелкой потенциометра.

Принцип действия схемы заключается в автоматическом слежении за изменением сопротивления обмотки $R_{об}$, при изменении сопротивления возникает разбаланс моста и на его диагонали появляется напряжение разбаланса, которое после усиления приводит во вращение ротор реверсивного двигателя РД и перемещение ползунка реохорда R_p в сторону уменьшения разбаланса до наступления равновесия моста. Таким образом, каждому значению сопротивления обмотки $R_{об}$ (измеряемой температуры обмотки) соответствует строго определенное положение ползунка на реохорде R_p , а следовательно, и строго определенное положение указателя (стрелки и пера) на шкале измерителя – прибора ИТОР.

Как известно, сопротивления обмотки изменяется пропорционально изменению температуры, при этом величина его приращения определяется по формуле

$$\Delta R_{об} = R_{об}^0 \alpha \Delta t_{об} \quad (2)$$

где $R_{об}^0$ – сопротивление обмотки в начале диапазона; α – температурный коэффициент сопротивления меди; $\Delta t_{об}$ – приращение температуры обмотки.

Схема ИТОР основана на идее компенсации приращения сопротивления обмотки $\Delta R_{об}$ перемещением ползунка S , поэтому, очевидно, что диапазон измерения температуры обмотки Δt_d зависит только от отношения сопротивлений реохорда R_p и эталонного резистора $R_э$. В этой схеме метрологически зависимыми элементами

является реохорд R_p , резистор R_3 , обмотка $R_{об}$ и шунт $R_{ш}$. При заданных сопротивлениях обмотки $R_{об}$ и шунта $R_{ш}$ и известном сопротивлении реохорда R_p расчет схемы сводится к определению сопротивления эталонного резистора R_3 .

Решая систему уравнений для равновесия моста в начале диапазона измерения (ползунок смещен к точке «д») и в конце диапазона (ползунок смещен к точке «в»), т.е. перемещение ползунка $S=1$, получено выражение взаимосвязи сопротивлений элементов схемы:

$$\frac{R_p}{R_3} = \frac{\Delta R_{об}}{R_{ш} + R_{об}^0} \quad (3)$$

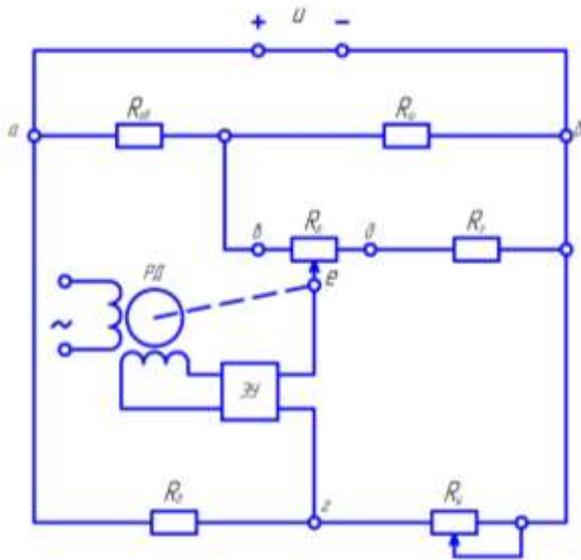


Рис. 1. Схема измерения температуры обмотки ротора ИТОР

Если пренебречь сопротивлением $R_{ш}$, которое как минимум на три порядка меньше сопротивление $R_{об}$, и подставить вместо $\Delta R_{об}$ его выражение через заданный диапазон температуры Δt_d (2), получим уравнение:

$$\frac{R_p}{R_3} = \alpha \Delta t_d \quad (4)$$

Из этого уравнения видно, что диапазон измерения схемы задается отношением сопротивлений R_p и R_3 , а при выбранном базовом приборе (известном R_p) расчет схемы сводится к определению величины эталонного резистора R_3 .

Решая систему уравнений для равновесия места в начале диапазона (при $S_x=0$)

и в любой промежуточной точке диапазона (при $S_x \neq 1$), получено уравнение перемещение ползунка S_x реохорда:

$$S_x = \frac{R_3}{R_p} \cdot \alpha \Delta t_x \quad (5)$$

Отсюда видно, что перемещение ползунка S_x пропорционально приращению температуры Δt_x , т.е. шкала измерителя ИТОР линейная.

Как известно, погрешность показания приборов автоматического следящего уравнивания определяется чувствительностью электронного усилителя ЭУ (нуль-индикатора) и параметрами измерительной схемы. Чувствительность ЭУ определяет погрешность квантования схемы Δt_k - разницу между истинной температурой обмотки $t_{об}$ и показываемой прибором температуры ($\Delta t_k = t_{об} - t_{пр}$). При незначительных изменениях температуры обмотки Δt_x когда напряжение в диагонали $U_{ер}$ меньше порога чувствительности усилителя $U_{у.п.}$ мост разбалансирован, но следящая система на это не реагирует. Решением системы уравнений найдено выражение порога чувствительности моста по приращению температуры обмотки $\Delta t_п$ для начала диапазона измерения (для наибольшей нечувствительности):

$$\Delta t = \frac{U_{у.п.} (R_3 + R_p) \cdot R_{об}^0}{\alpha [U_0 \cdot R_3 \cdot R_{ш} - U_{у.п.} (R_3 + R_p) \cdot R_{об}^0]} \quad (6)$$

Если принять порог чувствительности усилителя $U_{у.п.} = 10 \cdot 10^{-6} В$ (для потенциометров $U_{у.п.} \leq 0,01 мВ$) и температурный коэффициент сопротивления обмотки $\alpha = 425 \cdot 10^{-5} 1/^\circ C$ ($\alpha = 425 \cdot 10^{-5} 1/^\circ C$ при $t_{об} = 0^\circ C$), то получим формулу для определения погрешности квантования схемы:

$$\Delta t_k \leq \frac{(R_3 + R_p) \cdot R_{об}^0}{425 \cdot U_0 \cdot R_3 \cdot R_{ш}} \quad (7)$$

Для синхронных электродвигателей при $R_{ш} = 150 мкОм$ и номинальных режимов возбуждения ($I_H = 250-300 А$ и $U_H \geq 40В$) погрешность квантования схемы не превышает $0,1^\circ C$, а при понижении напряжения питания U_0 она увеличиваться. Так при $U_0 = 10В$ для двигателя типа СТД-1250-2 ($I_H \approx 280А$ и $U_H \approx 40В$) погреш-

ность квантования равна $0,35^{\circ}\text{C}$. Предполагаемая новая схема ИТОР выгодно отличается от существующих схем простой реализации и сравнительно высокой точности измерения.

Измеритель температуры обмотки ротора можно создать на основе рассмотренной новой схемы ИТОР на базе любого (показывающего или самопишущего) потенциометра автоматического следящего уравновешивания. Однако, для более полного решения задачи контроля температуры обмотки с автоматической регистрацией и сигнализацией рекомендуется измеритель ИТОР создать на базе прибора типа КСПЗ (КСПЗ-П или КСПЗ-У).

На рис.2 приведена электро-кинематическая схема прибора ИТОР, построенного на базе КСПЗ-П и названного прибором КСПЗ-ИТОР. Этот прибор построен путем замены в приборе КСПЗ-П собственного измерительного блока на новый. Фактически в измерительный блок вместо прежней вмонтирована новая плата, содержащая эталонный резистор R_1 , шунт реохорда R_2 , установочный резистор R_3 , балластный резистор R_4 , резистор R_5 конденсатор фильтра C , а также выключатель S_d для закорачивания R_5 при начальной балансировке моста.

Реохорд R_p зашунтирован резистором R_p для того, чтобы получить высокую температурную стабильность соотношения сопротивлений хронизирующих элементов схемы ($R_p=R_3\alpha\Delta t_d$). Резистор R_2 и эталонный резистор R_1 должны изготавливаться из манганинового или константанового провода ПЭШОММ-0,4 мм; сопротивление R должно быть намного меньше сопротивления $R_p=220$ Ом.

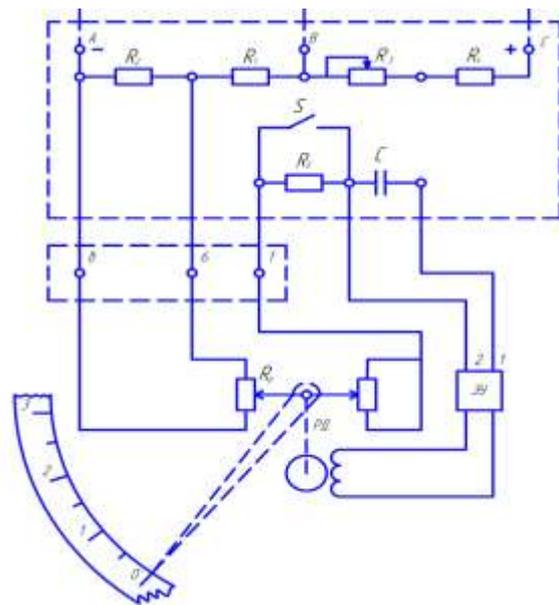


Рис. 2. Принципиальная схема КСПЗ-ИТОР

При расчете схемы следует учесть то, что ползунок реохорда не доходит до его концов, т.е. в заданном диапазоне измерения температуры Δt_d диапазон перемещения ползунка $S_d < 1$ (ранее принимали S_d равным длине реохорда $S=1$). Для серийно импульсных приборов $S_d = \text{const}$ ($S_d=0,935$), поэтому уравнение (5) можно представить в виде:

$$S_d R_p = R_3 \alpha \Delta t_d = R_3 K_d, \quad (8)$$

где $K_d = \alpha \Delta t_d$ – коэффициент диапазона измерений

Неперекрываемая часть $(1 - S_d)$ реохорда R_p входит в сопротивление, поэтому после замены сопротивления R_p его приведенным R'_p ($R'_p = R_p / R_2$) получим основное уравнение:

$$S_d R'_p = K_d \left[R_1 + \frac{(1 - S_d) R_p}{2} \right] \quad (9)$$

Если задаться сопротивлением R , то сопротивление R'_p находится по формуле

$$R'_p = \frac{2K_d R_1}{2S_d - K_d(1 - S_d)} \quad (10)$$

а затем определяют сопротивление R_2 :

$$R_2 = \frac{R_p R'_p}{R_p - R'_p} \quad (11)$$

Если задаться сопротивлением R_2 , то вначале определяется приведенное сопротивление R'_p :

$$R_2 = \frac{R_p R_2}{R_p + R_2}, \quad (12)$$

а затем определяется

$$R_1 = \frac{S_p R_p' - (1 - S_d) R_p'}{K_d}. \quad (13)$$

Установочный резистор R_3 и высокоомный балластный резистор должны быть выбраны с одинаковым температурным коэффициентом. При заданном сопротивлении R_4 сопротивление R_3 находится по формуле:

$$R_3 > R_4 \frac{R_{ш}}{R_{об}^0 (1 + K_d)}. \quad (14)$$

В качестве сопротивления R_5 следует принимать резистор сопротивлением 1 кОм, а в качестве емкости C – конденсатор емкостью 200 мкФ.

После изготовления прибор КСПЗ-ИТОР должен быть испытан, для чего его следует подключить к источнику $U_0 > 10$ В как показано пунктиром. Необходимо выбрать сопротивление $R_{ш}$, $R_{об}$ и ΔR в масштабе 1:1000 относительно реальных сопротивлений цепи питания обмотки синхронного двигателя.

Прибор ИТОР можно изготовить на базе любого потенциометра (типа КПП1,

КСП1, КСП2, КСП3 и КСП4) или автоматического вольтметра или миллиамперметра (типа КПУ1, КСУ1, КСУ2, КСУ3 и КСУ4).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Богаенко И.Н. Контроль температуры электрических машин. К.: техника, 1975 – 175с.
2. ГОСТ 11828-86 (СТ СЭВ 1347-78). Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний.
3. Испытание электрических машин / Н.В. Астахов. - М.: Высшая школа 1984. - 272с.
4. ГОСТ20815-75 Машины электрические вращающиеся. Методы определения сопротивлений обмоток без отключения машин от сети.
5. Сомбурский А.И., Новик В.К. Бесконтактные измерения температуры роторов турбогенераторов. Электрические станции. 1974. – №6.
6. Воронков С.П. Регистрирующий прибор для измерения температуры роторов турбогенераторов. Электрические станции. 1974. – №6.
7. Кундо Ю.А и др. Устройство для измерения температуры обмоток электрических машин. А.с. № 1513376 СССР. Кл. 01 К 13/08.

УДК 621.793

Глушкова Д.Б., Костина Л.Л., Рыжков Ю.В., Демченко С.В.
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛЕЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ

1. Введение

Преждевременное разрушение рештаков скребковых конвейеров приводит к снижению добычи угля и создает условия для появления аварийных ситуаций.

Исследования поверхности изношенных рештаков показали, что рештаки и, в особенности, боковины в процессе эксплуатации подвергаются абразивному износу. Твердость материала определяет величину взаимного внедрения микронеровностей трущихся поверхностей. Авторами работ [1, 2] установлена взаимосвязь

между твердостью испытуемого материала и износостойкостью. Условия работы обуславливают высокие требования к материалу рештаков в отношении прочности и износостойкости.

В настоящее время рештаки изготавливаются из стали БРК, которая поставляется металлургическим заводом «Азовсталь». Статистика свидетельствует о том, что продолжительность эксплуатации рештаков СП-87П и КМ-81-025М равна 6–9 месяцев и за это время обеспечивается транспортировка всего 300–400 тыс. тонн